

Rec'd PCT/PTO 22 JUN 2005

REC'D 4 - FEB 2004

WIPO PCT



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 60 733.8

Anmeldetag: 23. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Outokumpu Oyj, Espoo/FI

Bezeichnung: Verfahren und Anlage zur Wärmebehandlung von
eisenoxidhaltigen Feststoffen

IPC: C 22 B, C 21 B, F 27 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Schmidt O.

VERFAHREN UND ANLAGE ZUR WÄRMEBEHANDLUNG VON EISENOXIDHALTIGEN FESTSTOFFEN

5

Technisches Gebiet

10

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, bei dem feinkörnige Feststoffe in einem Reaktor mit Wirbelbett auf eine Temperatur von 700 bis 1.150 °C erhitzt werden, sowie eine entsprechende Anlage.

15

Derartige Verfahren und Anlagen werden u.a. bei der Verhüttung von Erzen, beispielsweise bei der Herstellung von Eisen aus Eisenerzen, Ferronickel-Legierungen aus Eisen-Nickel-Erzen oder dergl. eingesetzt, bevor die so wärmebehandelten Erze in einer nachfolgenden Verfahrensstufe reduziert werden. Während diese Vorwärmung eisenoxidhaltiger Erze früher vorwiegend in Drehrohrofen erfolgte, werden für diesen Zweck seit einigen Jahren auch Wirbelschichtreaktoren eingesetzt.

20

Aus der EP 0 222 452 B1 ist ein Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden zu niedrigeren Metalloxiden mittels kohlenstoffhaltiger Reduktionsmittel bekannt, bei dem zunächst höhere Metalloxide enthaltende Feststoffe mit heißen Gasen bei 800 bis 1.100 °C in einem ersten Reaktor, in dem die Feststoffe durch die heißen Gase suspendiert werden, kalziniert werden, bevor die so kalzinierten Feststoffe in einem zweiten Reaktor mit einer stationären Wirbelschicht unter Zugabe von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln und sauerstoffhaltigen Gasen bei einer Temperatur von 800 bis 1.100°C zu niedrigeren Metalloxiden reduziert werden. Dabei kann die Kalzinierung in einer Wirbelschicht erfolgen, die entweder stationär oder bevorzugt zirkulierend ausgebildet ist. Allerdings ist die bei Anwendung einer stationären Wirbelschicht erzielte Energieausnutzung des

25

30

Kalzinierungsschrittes verbesserungsbedürftig. Dies liegt daran, dass der Stoff- und Wärmeaustausch aufgrund des vergleichsweise geringen Fluidisierungsgrades eher mäßig und deshalb eine Innenverbrennung schwierig zu beherrschen ist. Außerdem ist eine Feststoffvorwärmung in einen Suspensionswärmetauscher schlecht integrierbar, weil man die Fluidisierungsdüsen der stationären Wirbelschicht nur ungern mit staubhaltigen Gasen beaufschlagt. Demgegenüber weisen zirkulierende Wirbelschichten aufgrund des höheren Fluidisierungsgrades bessere Stoff- und Wärmeaustauschbedingungen auf und erlauben die Integration eines Suspensionswärmetauschers, sind jedoch aufgrund des höheren Fluidisierungsgrades hinsichtlich ihrer Feststoffverweilzeit beschränkt.

Beschreibung der Erfindung

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, bei der Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen die Wärme- und Stoffaustauschbedingungen zu verbessern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch wenigstens ein, vorzugsweise zentral angeordnetes Gaszufuhrrohr (Zentralrohr) in einen Wirbelmischkammerbereich des Reaktors eingeführt wird, wobei das Zentralrohr wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht umgeben wird, und die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Zentralrohr zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer zwischen 0,3 und 30 betragen.

Überraschenderweise lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Wärmebehandlung die Vorteile einer stationären Wirbelschicht, wie ausreichend lange Feststoffverweilzeit, und die einer zirkulären Wirbelschicht, wie guter Stoff- und Wärmeaustausch, unter Vermeidung der Nachteile beider Systeme miteinander verbinden. Beim Passieren des oberen Bereichs des Zentralrohrs reißt das erste Gas bzw. Gasgemisch Feststoff aus dem ringförmigen stationären Wirbelbett, welches als Ringwirbelschicht bezeichnet wird, bis in die Wirbelmischkammer mit, wobei sich aufgrund der hohen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Feststoff und erstem Gas eine intensiv durchmischte Suspension bildet und ein optimaler Wärme- und Stoffaustausch zwischen den beiden Phasen erreicht wird. Durch entsprechende Einstellung des Füllstandes in der Ringwirbelschicht sowie der Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases bzw. Gasgemisches und des Fluidisierungsgases kann die Feststoffbeladung der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs in weiten Bereichen variiert werden, so dass der Druckverlust des ersten Gases zwischen dem Mündungsbereich des Zentralrohrs und dem oberen Austritt der Wirbelmischkammer zwischen 1 mbar und 100 mbar liegen kann. Im Falle hoher Feststoffbeladungen der Suspension in der Wirbelmischkammer regnet ein Großteil der Feststoffe aus der Suspension aus und fällt in die Ringwirbelschicht zurück. Diese Rückführung wird interne Feststoffrezirkulation genannt, wobei der in dieser internen Kreislaufströmung zirkulierende Feststoffstrom normalerweise bedeutend größer ist als die dem Reaktor von außen zugeführte Feststoffmenge. Der (geringere) Anteil an nicht ausfallendem Feststoff wird zusammen mit dem ersten Gas bzw. Gasgemisch aus der Wirbelmischkammer ausgetragen. Die Verweilzeit des Feststoffs in dem Reaktor kann durch die Wahl von Höhe und Querschnittsfläche der Ringwirbelschicht in weiten Grenzen verändert und der angestrebten Wärmebehandlung angepasst werden. Aufgrund der hohen Feststoffbeladung einerseits und des guten Stoff- und Wärmeaustauschs andererseits ergeben sich oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs hervorragende Bedingungen für eine praktisch vollständige Verbrennung des in den Reaktor eingebrachten Brennstoffs. So kann beispiels-

den Reaktor eingebrachten Brennstoffs. So kann beispielsweise eine praktisch vollständige Verbrennung von Erdgas in der Nähe der Zündtemperatur und/oder bei geringem Sauerstoffüberschuss durchgeführt werden, ohne dass lokale Temperaturspitzen entstehen. Der mit dem Gasstrom aus dem Reaktor ausge-
tragene Anteil an Feststoff wird dem Reaktor vollständig oder zumindest teilweise wieder zurückgeführt, wobei die Rückführung zweckmäßigerweise in die stationäre Wirbelschicht erfolgt. Der auf diese Weise in die Ringwirbelschicht zurückgeführte Festmassenstrom liegt normalerweise in der gleichen Größenordnung wie der dem Reaktor von außen zugeführte Festmassenstrom. Abgesehen von der hervorragenden Energieausnutzung besteht ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens in der Möglichkeit, durch Änderung der Strömungsgeschwindigkeiten des ersten Gases bzw. Gasgemisches und des Fluidisierungsgases den Energieaustausch des Verfahrens und den Stoffdurchsatz schnell, einfach und zuverlässig den Anforderungen anzupassen.

Um einen besonders effektiven Wärmeaustausch in der Wirbelmischkammer und eine ausreichende Verweilzeit in dem Reaktor sicherzustellen, werden die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gasgemisches und des Fluidisierungsgases für das Wirbelbett vorzugsweise derart eingestellt, dass die dimensionslose Partikel-Froude-Zahlen (Fr_p) in dem Zentralrohr 1,15 bis 20, in der Ringwirbelschicht 0,115 bis 1,15 und/oder in der Wirbelmischkammer 0,37 bis 3,7 betragen. Dabei sind die Partikel-Froude-Zahlen jeweils nach der folgenden Gleichung definiert:

$$Fr_p = \frac{u}{\sqrt{\frac{(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} * d_p * g}}$$

mit

- u = effektive Geschwindigkeit der Gasströmung in m/s
 ρ_s = Dichte eines Feststoffpartikels in kg/m^3
 ρ_f = effektive Dichte des Fluidisierungsgases in kg/m^3
5 d_p = mittlerer Durchmesser der beim Reaktorbetrieb vorliegenden Partikel des Reaktorinventars (bzw. der sich bildenden Teilchen) in m
g = Gravitationskonstante in m/s^2 .

Bei der Anwendung dieser Gleichung gilt zu berücksichtigen, dass d_p nicht die Korngröße (d_{50}) des dem Reaktor zugeführten Materials bezeichnet, sondern
10 den mittleren Durchmesser des sich während des Betriebs des Reaktors bildenden Reaktorinventars, welcher von dem mittleren Durchmesser des eingesetzten Materials (Primärteilchen) signifikant in beide Richtungen abweichen kann. Aus sehr feinkörnigem Material mit einem mittleren Durchmesser von 3 bis 10 μm bilden sich bspw. während der Wärmebehandlung Teilchen (Sekundärteilchen) mit einer Korngröße von 20 bis 30 μm . Andererseits zerfallen manche Materialien, bspw. bestimmte Erze, während der Wärmebehandlung.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, den Füllstand an Feststoff in dem Reaktor so einzustellen, dass sich die Ringwirbelschicht
20 wenigstens teilweise um einige Zentimeter über das obere Mündungsende des Zentralrohrs hinaus erstreckt und somit ständig Feststoff in das erste Gas oder Gasgemisch eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Zentralrohres befindlichen Wirbelmischkammer mitgeführt wird. Auf diese Weise wird eine besonders hohe Feststoffbeladung der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs erreicht, die z.B. eine
25 vollständige Verbrennung unter schwierigen Bedingungen erlaubt.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können alle Arten von eisenoxidhaltigen Erzen, insbesondere auch solche, welche neben Eisen andere Metalloxide enthalten, effektiv wärmebehandelt werden. Insbesondere ist das Verfahren zur
30

Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Nickelerzen, eisenoxidhaltigen Manganerzen und eisenoxidhaltigen Chromerzen geeignet.

5 Die Erzeugung der für den Reaktorbetrieb notwendigen Wärmemenge kann auf jede dem Fachmann zu diesem Zweck bekannte Weise erfolgen.

10 Gemäß einer besonderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dem Reaktor Brennstoff zuzuführen, durch dessen Verbrennung innerhalb des Reaktors mit einem sauerstoffhaltigen Gas die für die Vorwärmung erforderlichen Wärmemenge vollständig oder zumindest teilweise generiert wird. Bei der letztgenannten Alternative kann der andere Teil der erforderlichen Wärmemenge dann über die Zufuhr heißer Gase oder vorgewärmten Feststoffes abgedeckt werden. Während fester Brennstoff, wie Kohle, oder flüssiger Brennstoff, bspw. flüssige Kohlenwasserstoffe, dem Reaktor vorzugsweise über eine
15 entsprechende Zuleitung direkt in die Ringwirbelschicht oder die Wirbelmischkammer zugeführt wird, können gasförmige Brennstoffe, bspw. Erdgas, entweder über eine entsprechende Zuleitung in die Ringwirbelschicht, in einen Reaktorbereich oberhalb der Ringwirbelschicht oder durch das Zentralrohr in den Reaktor eingebracht werden.

25 Um eine vollständige Verbrennung des Brennstoffs zu gewährleisten, wird dem Reaktor bevorzugt sauerstoffhaltiges Gas mit einem Sauerstoffgehalt von 15 bis 30 % zugeführt, und zwar vorzugsweise entweder über eine Leitung oberhalb der Ringwirbelschicht oder durch das Zentralrohr.

30 In Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, einen Teil des oder den gesamten Energiebedarf des Reaktors durch Zufuhr von Abgasen aus einem nachgeschalteten Reaktor, bspw. einem Reduktionsreaktor, welches ggf. noch Brennstoff, wie Methan oder Kohlenmonoxid, enthält, abzudecken. So kann der notwendige Bedarf an frischem Brennstoff deutlich gesenkt werden oder sogar

ganz entfallen. Diese Verfahrensführung bietet sich insbesondere bei denjenigen Verfahren an, bei denen nach der Wärmebehandlung eine Schmelzreduktion etwa von Eisenerzen durchgeführt wird, da hierbei große Mengen an Abgas mit einer Temperatur von bis zu 1.500 °C gebildet werden. Vorzugsweise wird das staubhaltige Abgas dem Reaktor über das Zentralrohr zugeführt, so dass auf eine kostenaufwendige Entstaubung verzichtet werden kann. Die Verbrennungsluft wird hierbei zweckmäßigerweise durch eine Leitung oberhalb der Ringwirbelschicht in die Wirbelmischkammer eingeführt. Es bietet sich an, die Temperatur im Reaktor durch Variation der zugeführten Luftmenge zu regeln, wobei die Gasatmosphäre am Austritt des Reaktors noch leicht reduzierend ist.

Wenn der Heizwert des Reduktionsreaktor-Abgases zum Erreichen der gewünschten Reaktortemperatur nicht ausreicht, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dem Reaktor durch das Zentralrohr eine Mischung aus einem sauerstoffhaltigen Gas, aus gasförmigem Brennstoff, wie Erdgas, und aus Abgas des nachgeschalteten zweiten Reaktors, welches ebenfalls Brennstoff enthält, zuzuführen. Bei dieser Verfahrensführung findet die Vermischung der Ströme vornehmlich in dem Zentralrohr statt, während Zündung und Verbrennung in der Wirbelmischkammer erfolgen, wo ein besonders effektiver Wärmeaustausch zwischen den vom Gasstrom mitgerissenen heißen Partikeln der stationären Ringwirbelschicht und den Prozessgasen erfolgt. In diesem Fall wird die Reaktortemperatur durch Variation des Stroms des gasförmigen Brennstoffs geregelt, wobei die Menge des sauerstoffhaltigen Gases so eingestellt wird, dass am Austritt des Reaktors noch ein Restsauerstoffgehalt des Abgases vorhanden ist.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird frischer Brennstoff, vorzugsweise gasförmiger Brennstoff, oder brennstoffhaltiges Abgas aus einem nachgeschalteten Reaktor oder eine Mischung aus frischem Brennstoff und brennstoffhaltigen Abgasen zusammen mit sauerstoffhaltigen Gas in einer dem Reaktor vorgeschalteten Brennkammer verbrannt, bevor die

so erzeugten heißen Prozessgase dem Reaktor, vorzugsweise über das Zentralrohr, zugeführt werden. Selbstverständlich ist es auch bei dieser Ausführungsform möglich, nur einen Teil des Energiebedarfs durch die Verbrennung von frischem Brennstoff zu generieren und den restlichen Teil durch die Zufuhr von heißen Abgasen aus einem nachgeschalteten Reaktor abzudecken.

Wird der Reaktor mit hohem Druck betrieben, so lässt sich der Reaktordruck durch Einsatz einer Entspannungsturbine ausnutzen. Bevorzugte Druckwerte liegen zwischen 0.8 und 10 bar.

Als Gas zur Fluidisierung der Ringwirbelschicht wird dem Vorwärmreaktor vorzugsweise Luft zugeführt, wobei für diesen Zweck selbstverständlich auch alle anderen dem Fachmann zu diesem Zweck bekannten Gase bzw. Gasgemische verwendet werden können. Es kann auch vorteilhaft sein, entstaubtes und gekühltes Abgas so zu verdichten, dass es als Fluidisierungsgas für die Ringwirbelschicht eingesetzt werden kann.

Der mit dem durch das Zentralrohr führenden Gasstrom mitgerissene und aus dem Reaktor ausgetragene Anteil an Feststoff, also derjenige Anteil, welcher nicht in der Wirbelmischkammer des Reaktors wieder in die stationäre Ringwirbelschicht zurückfällt, wird in einem dem Reaktor nachgeschalteten Zyklon abgetrennt und kann über eine Feststoffrückführleitung vollständig oder teilweise wieder zurückgeführt werden. Ein wesentlicher Vorteil dieser Feststoffrückführung liegt darin, dass die Feststoffbeladung der Suspension in der Wirbelmischkammer gezielt auf die Anforderungen des Prozesses eingestellt, ja sogar während des Betriebs nach Bedarf geändert werden kann.

In Weiterbildung dieses Erfindungsgedankens wird hierzu der Druckverlust zwischen dem Zentralrohr und der Austrittsleitung aus dem Reaktor gemessen und durch Variation der zurückgeführten Feststoffmenge geregelt. Als besonders

vorteilhaft hat sich dazu ein fluidisierter Zwischenbehälter mit nachgeschaltetem Dosierorgan, beispielsweise einer drehzahlvariablen Zellenradschleuse oder einem Walzendrehschieber, erwiesen. Der nicht zur Rückführung benötigte Feststoff wird bspw. mittels eines Überlaufs ausgeschleust.

5

Wenn die Beeinflussung der Feststoffbeladung der Suspension oberhalb des Mündungsbereiches des Zentralrohrs nicht erforderlich oder aus anderen Gründen eine Rückführung nicht sinnvoll ist, können die Feststoffrückführung und der Zwischenbehälter entfallen. Der mit dem Gasstrom ausgetragene Feststoff wird in diesem Fall vollständig ausgeschleust.

10

Dem Reaktor können eine oder mehrere Vorwärmstufen vorgeschaltet sein, in denen das zu kalzinierende und ggf. zu reduzierende Erz vorgewärmt und so ein Teil dessen Feuchtigkeitsgehaltes entfernt wird. Vorzugsweise sind dem Reaktor zwei Vorwärmstufen, jeweils bestehend aus einem Suspensionswärmetauscher und einem nachgeschalteten Zyklon, vorgeschaltet, wobei das Material in dem ersten Suspensionswärmetauscher durch Abgas aus dem zweiten Suspensionswärmetauscher und das Material in dem zweiten Suspensionswärmetauscher durch Abgas aus dem Reaktor aufgewärmt wird. Auf diese Weise wird der Gesamtenergiebedarf des Prozesses reduziert.

15

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird ferner vorgeschlagen, in Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitsgehalt des Ausgangsmaterials einen Teil (0 bis 100 %) des in dem Zyklon der ersten Vorwärmstufe abgeschiedenen Feststoffs über eine Bypassleitung unter Umgehung der zweiten Vorwärmstufe direkt in den Reaktor einzubringen, während der restliche Anteil zunächst in die zweite Vorwärmstufe geführt wird, bevor auch dieser in den Reaktor eingetragen wird. Je höher der Feuchtigkeitsanteil des vorzuwärmenden und ggf. reduzierenden Ausgangsmaterials, desto größer wird der durch die zweite Vorwärmstufe und desto geringer wird der durch die Bypassleitung geführte Anteil des Feststoffs

25

30

gewählt werden. So kann die Verfahrensführung im Hinblick auf eine optimale Energieausnutzung flexibel auf den Feuchtigkeitsgehalt des Ausgangsmaterials abgestimmt werden.

5 Eine erfindungsgemäße Anlage, welche insbesondere zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens geeignet ist, weist einen als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor zur Vorwärmung von eisenoxidhaltigen Feststoffen auf, wobei der Reaktor ein Gaszuführungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Gas Feststoff
10 aus einer stationären Ringwirbelschicht, die das Gaszuführungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer mitreißt. Vorzugsweise erstreckt sich dieses Gaszuführungssystem bis in die Wirbelmischkammer. Es ist jedoch auch möglich, das Gaszuführungssystem unterhalb der Oberfläche der Ringwirbelschicht enden zu lassen. Das Gas wird dann bspw. über seitliche Öffnungen
15 in die Ringwirbelschicht eingebracht, wobei es aufgrund seiner Strömungsgeschwindigkeit Feststoff aus der Ringwirbelschicht in die Wirbelmischkammer mitreißt.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Gaszuführungssystem ein sich vom unteren Bereich des Reaktors aus im Wesentlichen vertikal nach oben vorzugsweise bis in die Wirbelmischkammer erstreckendes Gaszufuhrrohr (Zentralrohr) auf, welches wenigstens teilweise von einer Kammer umgeben ist, in der die stationäre Ringwirbelschicht ausgebildet ist. Das Zentralrohr kann an seiner Austrittsöffnung als Düse ausgebildet sein und eine
25 oder mehrere verteilt angeordnete Öffnungen an seiner Mantelfläche aufweisen, so dass während des Reaktorbetriebs ständig Feststoff über die Öffnungen in das Zentralrohr gelangt und mit dem ersten Gas oder Gasgemisch durch das Zentralrohr bis in die Wirbelmischkammer mitgeführt wird. Selbstverständlich können in dem Reaktor auch zwei oder mehr Zentralrohre mit unterschiedlichen
30 oder gleichen Ausmaßen oder Querschnittsformen vorgesehen sein. Vorzugs-

weise ist jedoch wenigstens eines der Zentralrohre, bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors, in etwa mittig angeordnet.

5 Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist dem Reaktor ein Zyklon zur Abtrennung von Feststoffen nachgeschaltet, wobei der Zyklon eine zu der Ringwirbelschicht des ersten Reaktors führende Feststoffleitung aufweisen kann.

10 Um eine zuverlässige Fluidisierung des Feststoffs und die Ausbildung einer stationären Wirbelschicht zu ermöglichen, ist in der ringförmigen Kammer des Reaktors ein Gasverteiler vorgesehen, welcher die Kammer in einen oberen Wirbelbettbereich und eine untere Gasverteilerkammer unterteilt. Die Gasverteilerkammer ist mit einer Zufuhrleitung für Fluidisierungsgas verbunden. Anstelle der Gasverteilerkammer kann auch ein aus Rohren aufgebauter Gasverteiler verwendet werden.

15 Zur Einstellung der für die Vorwärmung des Feststoffs notwendigen Temperaturen weist der Reaktor vorzugsweise eine zu dem Zentralrohr, der ringförmigen Kammer und/oder zu der Wirbelmischkammer führende Zufuhrleitung für Brennstoff auf. Zu demselben Zweck ist in dem Reaktor eine Zufuhrleitung für sauerstoffhaltiges Gas vorgesehen, welche entweder zu dem Zentralrohr oder in einen Bereich oberhalb des Wirbelbettbereichs führt.

20
25 Zusätzlich oder alternativ dazu kann dem Reaktor eine Brennkammer vorgeschaltet sein, in der frischer Brennstoff und/oder brennstoffhaltige Abgase aus einem dem Vorwärmreaktor nachgeschalteten Reaktor verbrannt wird.

30 In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird vorgeschlagen, eine von einem dem Vorwärmreaktor nachgeschalteten Reduktionsreaktor zu dem Zentralrohr des Reaktors führende Gasleitung vorzusehen, über die dem Vorwärmreaktor zumindest ein Teil der Abgase des Reduktionsreaktors zugeführt werden kann.

Da wegen fehlenden Feststoffs hierbei extreme Temperaturen entstehen können, die bspw. hohe NO_x-Emissionen oder Werkstoffprobleme zur Folge haben können, wird im Allgemeinen eine Innenverbrennung bevorzugt.

In der Ringwirbelschicht und/oder der Wirbelmischkammer des Reaktors können erfindungsgemäß Einrichtungen zum Umlenken der Feststoff- und/oder Fluidströme vorgesehen sein. So ist es bspw. möglich, ein ringförmiges Wehr, dessen Durchmesser zwischen dem des Zentralrohrs und dem der Reaktorwand liegt, derart in der Ringwirbelschicht zu positionieren, dass die Oberkante des Wehrs über das sich im Betrieb einstellende Feststoffniveau ragt, während die Unterkante des Wehrs im Abstand zu dem Gasverteiler oder dgl. angeordnet ist. Feststoffe, die in der Nähe der Reaktorwand aus der Wirbelmischkammer ausregnen, müssen so zunächst das Wehr an dessen Unterkante passieren, bevor sie von der Gasströmung des Zentralrohrs wieder in die Wirbelmischkammer mitgerissen werden können. Auf diese Weise wird ein Feststoffaustausch in der Ringwirbelschicht erzwungen, so dass sich eine gleichmäßigere Verweilzeit des Feststoffs in der Ringwirbelschicht einstellt.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung näher beschrieben. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Ansprüchen oder deren Rückbeziehung.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 zeigt ein Prozessdiagramm eines Verfahrens und einer Anlage gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 zeigt ein Prozessdiagramm eines Verfahrens und einer Anlage gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;

Fig. 3 zeigt ein Prozessdiagramm eines Verfahrens und einer Anlage gemäß eines dritten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;

5 **Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen**

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren, welches insbesondere zur Vorwärmung und Vorreduktion von Eisen-Nickel-Erzen und Eisen-Mangan-Erzen geeignet ist, wird über eine Förderschnecke 1 feinkörniges, ggf. feuchtes Erz mit einer Körngröße von weniger als 10 mm, in einen Suspensionswärmetauscher 2 einer ersten Vorwärmstufe chargiert, in dem das Material vorzugsweise durch Abgas einer zweiten Vorwärmstufe suspendiert und aufgewärmt wird, bis ein Großteil der Oberflächenfeuchte des Erzes entfernt ist. Anschließend wird die Suspension durch den Gasstrom in einen Zyklon 3 geführt, in dem die Feststoffe von dem Gas abgetrennt werden. Die abgeschiedenen Feststoffe werden daraufhin durch eine Leitung 4 in einen zweiten, venturiartigen Suspensionswärmetauscher 5 gefördert, weiter aufgewärmt und in einem Zyklon 6 wiederum von dem Gasstrom getrennt.

Das so vorgewärmte Erz wird durch Leitung 7 in den Reaktor 8 gefördert, in dem das Material zur Entfernung des restlichen Kristallwassers auf Temperaturen von 700 bis 1.150 °C aufgewärmt wird. Der Reaktor weist in seinem unteren zentralen Bereich ein vertikales Zentralrohr 9 auf, welches von einer im Querschnitt ringförmig ausgebildeten Kammer umgeben ist. Sowohl das Zentralrohr 9 als auch die "Ringkammer" können selbstverständlich auch einen anderen als den bevorzugten runden Querschnitt haben solange die Ringkammer das Zentralrohr 9 wenigstens teilweise umgibt.

Die Ringkammer wird durch einen Gasverteiler 11 in einen oberen und unteren Teil unterteilt. Während die untere Kammer als Gasverteilerkammer (Windbox)

10 für Fluidisierungsgas fungiert, befindet sich in dem oberen Teil der Kammer ein stationäres Wirbelbett 12 (Ringwirbelschicht) aus fluidisiertem Erz, bspw. Eisenerz oder einem eisenoxidhaltigen Nickel-, Chrom- oder Manganerz, wobei das Wirbelbett ein wenig über das obere Mündungsende des Zentralrohrs 9 hinaus reicht.

Durch die Leitung 13 wird dem Reaktor Luft als Fluidisierungsgas zugeführt, welches über den Gasverteiler 11 in den oberen Teil der ringförmigen Kammer strömt und dort das zu erwärmende Erz unter Ausbildung einer stationären Wirbelschicht fluidisiert. Die Geschwindigkeit der dem Reaktor 8 zugeführten Gase wird vorzugsweise so gewählt, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht 12 zwischen 0,12 und 1 beträgt.

Durch das Zentralrohr 9 kann dem Reaktor 8 ständig Abgas aus einem nachgeschalteten Reduktionsreaktor 14 zugeführt werden, welches nach Passieren des Zentralrohrs 9 über eine Wirbelmischkammer 15 und einen oberen Kanal 16 in den Zyklon 17 strömt. Die Geschwindigkeit des dem Reaktor 8 zugeführten Gases wird vorzugsweise so eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Zentralrohr 9 zwischen 6 und 10 beträgt. Aufgrund dieser hohen Gasgeschwindigkeiten reißt das durch das Zentralrohr 9 strömende Gas beim Passieren des oberen Mündungsbereichs Feststoff aus der stationären Ringwirbelschicht 12 in die Wirbelmischkammer 15 mit. Aufgrund der Überhöhung des Wirbelbettes in der Ringwirbelschicht gegenüber der Oberkante des Zentralrohres 9 läuft das Wirbelbett über diese Kante zum Zentralrohr 9 hin über, wodurch sich eine intensiv durchmischte Suspension ausbildet. Die Oberkante des Zentralrohres 9 kann hierbei gerade oder gezackt sein oder seitliche Eintrittsöffnungen aufweisen. Infolge der Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit durch die Expansion des Gasstrahls und/oder durch Auftreffen auf eine der Reaktorwände verlieren die mitgerissenen Feststoffe rasch an Geschwindigkeit und fallen wieder in die Ringwirbelschicht 12 zurück. Nur ein geringer Anteil an nicht ausfallendem Feststoff wird zusammen mit dem

ausfallendem Feststoff wird zusammen mit dem Gasstrom über den Kanal 16 aus dem Reaktor ausgetragen. Somit stellt sich zwischen den Reaktorbereichen der stationären Ringwirbelschicht 12 und der Wirbelmischkammer 15 eine Feststoffkreislaufströmung ein, durch welche ein guter Wärmeaustausch gewährleistet wird. In dem Zyklon 17 abgeschiedener Feststoff wird dem Reaktor 8 über die Leitung 18 wieder zurückgeführt, während das noch heiße Abgas in den Suspensionswärmetauscher 5 der zweiten Vorwärmstufe geleitet wird.

Die erforderliche Prozesswärme wird durch Verbrennung von Brennstoff gedeckt. Hierzu wird dem Reaktor bspw. Erdgas als Brennstoff zugeführt, der über Leitung 19 zunächst in Leitung 20 und dann über das Zentralrohr 9 in den Reaktor 8 eingetragen wird. Alternativ oder ergänzend dazu kann auch fester Brennstoff, wie Kohle, direkt in die Ringwirbelschicht 12 eingetragen werden. Flüssige Brennstoffe werden zweckmäßigerweise mit einem Gas in einer Zweistoffdüse zerstäubt. Das Zerstäubungsgas kühlt gleichzeitig die Düse.

Eine weitere Möglichkeit ist die Fluidisierung der Ringwirbelschicht 12 mit gasförmigem Brennstoff oder einer brennstoffhaltigen Gasmischung. Wenn kein Brennstoff benötigt wird, muss hierbei aber die Gasverteilkammer mit Inertgas, bspw. Stickstoff, gespült werden, um dann auf Luftfluidisierung umschalten zu können. Dies hat sich als sinnvoll erwiesen, um eine Unterbrechung der Fluidisierung der Ringwirbelschicht 12 zu vermeiden.

Bei einer nicht dargestellten weiteren Ausführungsform eines rohrförmigen Gasverteilers wird auf eine Gasverteilkammer verzichtet. Die Ringwirbelschicht 12 wird durch Luft fluidisiert, die durch Düsen eingebracht wird. Den Düsen wird die Luft mittels eines Rohrverteilers zugeführt. Einzelne der Düsen können an eine Brennstoffzuleitung angeschlossen sein, so dass Brennstoff eingebracht werden kann. Bei dieser Ausführungsform bleibt auch dann, wenn kein oder wenig

Brennstoff benötigt wird, die Fluidisierung der Ringwirbelschicht durch Luft erhalten.

Bei der bevorzugten, in Fig. 1 dargestellten Schaltung wird durch Leitung 20 ein brennstoffhaltiges Abgas des nachgeschalteten Reduktionsreaktors 14 zugeführt. der Energieinhalt dieses Abgases reicht vorzugsweise aus, um die gewünschte Reaktortemperatur zu erreichen. Um eine vollständige Verbrennung des Brennstoffs zu gewährleisten, wird dem Reaktor ein sauerstoffhaltiges Gas, vorzugsweise mit einem Sauerstoffgehalt von 15 bis 30 Vol.-%, zugeführt, wobei das Gas zunächst über die Zufuhrleitung 21 in die zu dem Zentralrohr 9 führenden Leitung 20 eingetragen wird, bevor es über das Zentralrohr 9 in den Reaktor 8 einströmt. Dabei wird eine Mischung von brennstoffhaltigem Abgas und sauerstoffhaltigem Abgas im Zentralrohr 9 angestrebt, während Zündung und Verbrennung erst im Reaktor 8 stattfinden sollen. Alternativ dazu kann das sauerstoffhaltige Gas auch über eine Zufuhrleitung oberhalb der Ringwirbelschicht 12 in den Reaktor 8 eingebracht werden.

Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, dass auch das über das Zentralrohr 9 eingeführte Abgas aus dem nachgeschalteten Reduktionsreaktor 14, welches gasförmigen Brennstoff, wie Methan und Kohlenmonoxid enthält, im Reaktor 8 verbrannt und somit energetisch genutzt werden kann, ohne dass es zuvor entstaubt werden muss.

Aus der Ringwirbelschicht 12 wird dem Reaktor 8 über Leitung 22 kontinuierlich ein Teil des vorgewärmten Materials entnommen und in die Wirbelschicht des Reduktionsreaktors 14 eingeführt, in der die in dem Feststoff enthaltenen Metalloxide zu niedrigeren Metalloxiden und/oder Metallen reduziert werden. Zu dem gleichen Zweck wird dem Reduktionsreaktor 14 über eine Leitung 24 vorgewärmter Feststoff, welcher in einem Elektrofilter 23 aus dem Abgas des dem ersten Suspensionswärmetauscher 2 nachgeschalteten Zyklons 3 abgetrennt

wurde, zugeführt. Als Reduktionsmittel wird bspw. in einer vorgeschalteten Spaltanlage aus Erdgas gewonnenes Reduktionsgas eingesetzt, das dem Reaktor 14 über eine Leitung 25 durch einen Düsenboden 33 zugeführt wird. Im Falle eines Schmelzreaktors (vgl. Fig. 3) kann Kohlenstaub als Reduktionsmittel in den Schmelzreaktor eingeblasen werden.

Alternativ oder ergänzend dazu können auch flüssige Kohlenwasserstoffe oder feinkörnige Kohle als Reduktionsmittel verwendet werden, die entweder direkt in die stationäre Wirbelschicht des Reaktors 14 eingetragen oder dem Reaktor 14 zusammen mit dem vorgewärmten oder kalzinierten Feststoff über die Leitungen 26, 22 zugeführt werden können. Sofern flüssige oder feste Reduktionsmittel eingesetzt werden, muss dem Reduktionsreaktor zur Ausbildung der stationären Wirbelschicht zusätzlich über Leitung 25 ein sauerstoffhaltiges Fluidisierungsgas mit einem Sauerstoffgehalt von 10 bis 25 Vol.-% zugeführt werden. Reduzierter Feststoff verlässt den Reduktionsreaktor 14 über Leitung 27, während das staubhaltige Abgas ohne Abtrennung des Staubanteils über Leitung 20 und das Zentralrohr 9 dem Reaktor 8 zugeführt wird, in dem der noch in den Abgasen enthaltene Brennstoff verbrannt wird. Auf diese Weise wird das Abgas aus dem Reduktionsreaktor 14 zum einen als Brennstoff zur Erzeugung der in dem Reaktor benötigten Temperatur und zum anderen als Trägergas zur Suspendierung des aus dem Mündungsbereich des Zentralrohres 9 mitgerissenen Feststoffs in der Wirbelmischkammer 15 ausgenutzt. Durch die energetische Nutzung des Abgases aus dem Reduktionsreaktors 14 in dem Reaktor 8 einerseits und die aufgrund der Ausgestaltung des Reaktors 8 erzielte Energieausnutzung bei der Vorwärmung andererseits wird mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ein hoher Wirkungsgrad erzielt.

Um bei einer gewählten Dimensionierung des Reaktors 8 eine größere Flexibilität hinsichtlich der Wahl der Ausgangsmaterialien, insbesondere im Hinblick auf die Feuchte des eingesetzten Erzes, zu erhalten, ist eine von dem Zyklon 3 der

ersten Vorwärmstufe zu dem Reaktor 8 führende Bypassleitung 28 vorgesehen, durch die ein festgelegter Anteil des in dem Zyklon 3 abgeschiedenen Feststoffs direkt in den Reaktor 8 geführt wird. Der restliche Anteil an Feststoff wird zunächst durch die zweite Vorwärmstufe geführt, bevor auch dieser über Leitung 7 in den Reaktor 8 eingetragen wird. Die Bypassleitung 28 ermöglicht es, bei besonders feuchten Erzen nur einen geringen Teilstrom durch die zweite Vorwärmstufe zu führen oder diese ganz abzuschalten, um die Kondensation von Wasserdampf im Elektrofilter 23 zu vermeiden.

Hierbei wird erfindungsgemäß die Abgastemperatur konstant gehalten, um die Energieausnutzung zu maximieren und eine Kondensation und damit Korrosionsschäden im Abgasweg zu vermeiden. Die Regelung der Abgastemperatur erfolgt dadurch, dass bei hoher Feuchte und Absinken der Abgastemperatur im Zyklon 3 unter den Sollwert die Fördermenge eines Dosierorgans, bspw. die Drehzahl einer Zellenradschleuse 34 oder dgl., in der Bypassleitung 28 erhöht wird (TIC1). Dadurch tritt mehr kalter Feststoff in den Reaktor 8 ein und die Temperatur in dem Kanal 16 sinkt unter den Sollwert. Dies führt über eine weitere Temperaturregelung (TIC2) zu einer stärkeren Öffnung eines Brennstoffventils 19' in der Brennstoffleitung 19. Gleichzeitig gelangt weniger kalter Feststoff aus dem Zyklon 3 in den Wärmetauscher 5, so dass die Temperatur in dem Wärmetauscher 5 und dem Zyklon 6 in Richtung des Sollwertes ansteigt.

Im Unterschied zu der zuvor beschriebenen Vorrichtung weist die in Fig. 2 dargestellte Anlage eine dem Reaktor 8 vorgeschaltete Brennkammer 29 auf, in der Brennstoff bzw. brennstoffhaltiges Abgas aus einem nachgeschalteten Schmelzreaktor 30 vor dessen Einleitung in den Reaktor 8 verbrannt wird.

Der Brennkammer 29 wird über Leitung 19 Brennstoff enthaltendes Abgas aus dem Schmelzreaktor 30, über Leitung 21 in einem Wärmetauscher 31 vorgewärmte Luft als Verbrennungsgas sowie via Leitung 32, ebenfalls vorgewärm-

tes, sauerstoffarmes Rückgas zugeführt. Aus der Brennkammer 29 wird das durch Verbrennung erzeugte, zwischen 900 und 1.700 °C heiße Prozessgas über Leitung 20 abgezogen und über das Zentralrohr 9 in den Reaktor 8 einge-
leitet. Dort verwirbelt und wärmt das Prozessgas den über Leitung 7 in die
5 Ringwirbelschicht 12 eingeführten Feststoff vor. Ferner werden dem Reaktor 8
über Leitung 13 Fluidisierungsgas für die Ringwirbelschicht 12 und über Leitung
35 Tertiärluft zur Temperatur- oder Sauerstoffregelung zugeführt. Vorzugsweise
werden die Geschwindigkeiten des Fluidisierungsgases und des durch das
Zentralrohr 9 strömenden Gases so gewählt, dass die Partikel-Froude-Zahlen in
10 der Ringwirbelschicht 12 zwischen 0,12 und 1 sowie in der Zentraldüse 9 zwi-
schen 6 und 12 betragen.

Aus dem Reaktor 8 ausgetragene Gas/Feststoff-Mischung wird in dem Zyklon
17 in die beiden Phasen getrennt. Während der vorgewärmte Feststoff über Lei-
15 tung 22 in den Schmelzreaktor 30 geführt wird, wird das warme Abgas zunächst
durch den Wärmetauscher 31 geleitet und anschließend über eine nicht darge-
stellte Gasreinigungsvorrichtung aufgereinigt.

Mit diesem Verfahren wird sichergestellt, dass der Brennstoff vollständig ver-
brannt ist, bevor er in den Reaktor 8 eingeleitet wird.

Das in der Fig. 3 dargestellte Verfahren unterscheidet sich von dem in der Fig. 1
beschriebenen dadurch, dass der Energiebedarf des Reaktors 8 ausschließlich
durch die Zufuhr von heißem Abgas aus einem nachgeschalteten Schmelzre-
duktionsreaktors 14' gedeckt wird. Solche Reaktoren 14' werden bspw. zur
25 Schmelzreduktion von Eisenerz zu metallischem Eisen eingesetzt, wobei erheb-
liche Mengen an etwa 1.500 °C heißen, staubhaltigen Abgasen erzeugt werden.

Analog zu dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren wird Eisenerz zunächst in zwei
30 Vorwärmstufen, jeweils bestehend aus einem Suspensionswärmetauscher 2, 5

und einem nachgeschaltetem Zyklon 3, 6 vorgewärmt, bevor der Feststoff über Leitung 7 in die Ringwirbelschicht 12 des Reaktors 8 eingeführt wird.

5 Dem Reaktor 8 wird über Leitung 13 Luft als Fluidisierungsgas und über das Zentralrohr 9 Abgas des nachgeschalteten Schmelzreduktionsreaktors 14' zugeführt. Luft wird über die Gasstromleitung 19 eingespeist. Da das staubhaltige Abgas dem Reaktor 8 zugeführt wird, kann auf eine kostenaufwendige Entstaubung verzichtet werden. Vorzugsweise werden die Geschwindigkeiten des Fluidisierungsgases und des durch das Zentralrohr 9 strömenden Gases so gewählt, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht 12 zwischen 0,1 und 1, in der Zentraldüse 9 zwischen 5 und 10 und in der Wirbelmischkammer 15 zwischen 1 und 5 betragen.

15 Ein Teilstrom des im Zyklon 17 abgeschiedenen, wärmebehandelten Feststoffs wird über Leitung 18 in den Reaktor 8 zurückgeführt, während der andere Teilstrom über Leitung 22 dem Reaktor 14' zur Schmelzreduktion zugeführt wird.

Ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens gegenüber den bisher zu diesem Zweck bekannten liegt darin, dass auf eine kostenaufwendige Entstaubung des Abgases aus dem Schmelzreduktionsreaktor 14', welche vor der Einleitung des Abgases in eine klassische stationäre Wirbelschicht zwingend erforderlich ist, verzichtet werden kann. Da bei diesem Verfahren darüber hinaus auf die Zufuhr von zusätzlichem Brennstoff verzichtet werden kann, ergibt sich im Vergleich zu dem in Fig. 1 dargestellten Verfahren eine noch bessere Energieausnutzung.

25 Im folgenden wird die Erfindung anhand von drei den Erfindungsgedanken demonstrierenden, diesen jedoch nicht einschränkenden Beispielen erläutert.

Beispiel 1 (Wärmebehandlung von lateritischem Nickelerz)

In einer der Fig. 1 entsprechenden Anlage wurden dem Suspensionswärmetauscher 2 über die Förderschnecke 220 t/h lateritisches Nickelerz mit einer Korngröße von weniger als 10 mm enthaltend

5 1,75 Gew.-% NiO,
 31,4 Gew.-% Fe₂O₃,
 11 Gew.-% Feuchtigkeit

zugeführt.

10
Nach Durchlauf der ersten und zweiten Vorwärmstufe wurde das vorgetrocknete Nickelerz über die Leitung 7 in einen Kalzinierreaktor 8 eingeführt. Ferner wurden dem Kalzinierreaktor 8 über das Zentralrohr (9) 6.200 Nm³/h Erdgas als Brennstoff (durch Leitung 19), 71.000 Nm³/h Luft als Verbrennungsgas (durch
15 Leitung 21) sowie 32.600 Nm³/h Abgas aus dem Reduktionsreaktor (durch Leitung 20) zugeführt, wobei das Gas eine Temperatur von ca. 800 °C und folgende Zusammensetzung aufwies:

2 Vol.-% H₂
18 Vol.-% H₂O
10 Vol.-% CO
14 Vol.-% CO₂
1 Vol.-% CH₄
44 Vol.-% N₂.

25

Außerdem wurden dem Reaktor 15.000 Nm³/h Luft über Leitung 13 als Fluidisierungsgas zur Ausbildung der Ringwirbelschicht 12 zugeführt. Die Temperatur im Kalzinierreaktor 8 betrug 900 °C.

30

Aus dem Kalzinierreaktor wurden 173 t/h kalziniertes Material abgezogen und dieses dem Reduktionsreaktor 14 über Leitung 22 zugeführt. Des weiteren wur-

den dem Reduktionsreaktor 32.600 Nm³/h Reduktionsgas, welches gleichzeitig als Fluidisierungsgas fungierte, über Leitung 25 zugeführt, wobei das Reduktionsgas folgende Zusammensetzung aufwies:

5	30	Vol.-% H ₂
	25	Vol.-% CO
	1	Vol.-% CH ₄
	44	Vol.-% N ₂ .

10 Schließlich wurden aus dem Reduktionsreaktor über Leitung 27 168 t/h kalzinierter und vorreduzierter Feststoff (Nickelerz) abgezogen, welcher 1,6 Gew.-% metallisches Nickel und 35,5 Gew.-% FeO enthielt.

Beispiel 2 (Wärmebehandlung von chromhaltigem Eisenerz)

15 In einer der Fig. 2 entsprechenden Anlage wurden dem Reaktor 8 durch Leitung (7) 30 t/h chromhaltiges Eisenerz mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 5 % Gew.-%, einem Cr₂O₃-Anteil von 53 Gew.-% und einer Korngröße von maximal 6 mm zugeführt.

Der Brennkammer 29 wurden durch Leitung (19) 4.500 Nm³/h Brenngas, durch Leitung 21' 5.800 Nm³/h auf 450 °C vorgewärmte Luft sowie durch Leitung 32 4.480 Nm³/h ebenfalls auf 450 °C vorgewärmtes Rückgas zugeleitet. An der gegenüberliegenden Seite der Brennkammer wurde über Leitung (20) 13.600
25 Nm³/h durch Verbrennung erzeugtes, heißes Prozessgas mit einer Temperatur von etwa 1.600 °C abgezogen und dem Reaktor über das Zentralrohr 9 zugeführt. Des weiteren wurden in den Reaktor 7.100 Nm³/h Luft als Fluidisierungsgas über Leitung 13 eingespeist.

30 Aus dem Zyklon 17 wurden 21.300 Nm³/h Abgase mit einer Temperatur von 1.100 °C entnommen, im nachfolgenden Wärmetauscher 31 auf 870 °C abge-

kühlt und abschließend in einer Gasreinigungsvorrichtung aufgereinigt. Schließlich wurde aus dem Kalzinierreaktor über Leitung 22 28,4 t/h chromhaltiges Erz mit einer Temperatur von 1.100 °C abgezogen und dieses dem Schmelzreaktor 30 zugeführt.

5

Beispiel 3 (Wärmebehandlung von Eisenerz)

10

In einer der Fig. 3 entsprechenden Anlage wurden dem Suspensionswärmetauscher 2 über die Förderschnecke (1) 178 t/h feuchtes Eisenerz (Hämatit) mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 5 % Gew.-%, einem Fe_2O_3 -Anteil von 80 Gew.-% und einer Korngröße von weniger als 10 mm zugeführt und mit Abgas aus Zyklon 6 getrocknet und auf etwa 277°C vorgewärmt. Das Abgas aus Zyklon 6 wies dabei folgende Zusammensetzung auf:

15

46,9	Vol.-% N_2
7,6	Vol.-% H_2
11,4	Vol.-% H_2O
5,7	Vol.-% CO
28,3	Vol.-% CO_2 .

25

Anschließend wurde der Feststoff in Zyklon 3 von der Gasphase getrennt und in den Suspensionswärmetauscher 5 überführt, in dem er durch Kontakt mit ca. 850 °C heißem Abgas aus dem Zyklon 17 auf eine Temperatur von 561 °C weiter erwärmt wurde. Daraufhin wurde das Material über Zyklon 6 und Leitung 7 in die Ringwirbelschicht 12 des Reaktors 8 geleitet.

30

Über das Zentralrohr 9 wurde dem Reaktor eine Mischung aus 13.000 Nm^3/h Luft (Leitung 19) und 103.000 Nm^3/h etwa 1.000 °C heißem Abgas (Leitung 20) aus dem Schmelzreduktionsreaktor 14' mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 65 m/s zugeführt. Das Abgas wies folgende Zusammensetzung auf:

45,1	Vol.-% N_2
------	---------------------

5,2 Vol.-% H₂
8,7 Vol.-% H₂O
18,5 Vol.-% CO
22,5 Vol.-% CO₂
20-40 g/Nm³ Staub.

5

Außerdem wurden dem Reaktor über Leitung 13 etwa 20.000 Nm³/h Luft als Fluidisierungsgas zur Ausbildung der Ringwirbelschicht zugeführt.

10

In dem unteren Bereich des Reaktors fand eine partielle Verbrennung des Abgases aus dem Schmelzreduktionsreaktor 14' mit der gleichzeitig zugeführten Luft statt. Aufgrund der reduzierenden Gasatmosphäre im Reaktor 8 wurde ein Teil des Hämatits zu Magnetit (Fe₃O₄) vorreduziert.

Bezugszeichenliste:

5	1	Förderschnecke
	2	Suspensionswärmetauscher der ersten Vorwärmstufe
	3	Zyklon der ersten Vorwärmstufe
	4	Feststoffleitung
	5	Suspensionswärmetauscher der zweiten Vorwärmstufe
10	6	Zyklon der zweiten Vorwärmstufe
	7	Feststoffleitung
	8	Reaktor
	9	Zentralrohr
	10	Gasverteilerkammer (Windbox)
15	11	Gasverteiler
	12	Ringwirbelschicht
	13	Zufuhrleitung für Fluidisierungsgas
	14, 14'	Reduktionsreaktor
	15	Wirbelmischkammer
20	16	Kanal
	17	Zyklon
	18	Feststoffrückführleitung
	19, 20, 21	Gasstromleitung
	22	Zufuhrleitung für wärmebehandelten Feststoff
25	23	Elektrofilter
	24	Feststoffzufuhrleitung
	25	Zuleitung für Fluidisierungsgas/gasförmiges Reduktionsmittel
	26	Zufuhrleitung für festes Reduktionsmittel
	27	Produktabfuhrleitung
30	28	Bypassleitung

	29	Brennkammer
	30	Schmelzreaktor
	31	Wärmetauscher
	32	Rückgasleitung
5	33	Düsenboden
	34	Zellenradschleuse
	35	Tertiärluftleitung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, bei dem feinkörnige Feststoffe in einem Reaktor (8) mit Wirbelbett auf eine Temperatur von 700 bis 1.150 °C erhitzt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein
5 erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch wenigstens ein Gaszufuhrrohr (9) in einen Wirbelmischkammerbereich (15) des Reaktors (8) eingeführt wird, wobei das Gaszufuhrrohr (9) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (12) umgeben wird, und dass die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (12) derart eingestellt werden, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszufuhrrohr (9) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (12) zwischen 0,02 und 2 sowie in der Wirbelmischkammer (15) zwischen 0,3 und 30 betragen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in dem Gaszufuhrrohr (9) zwischen 1,15 und 20 beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Ringwirbelschicht (12) zwischen 0,115 und 1,15 beträgt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partikel-Froude-Zahl in der Wirbelmischkammer (15) zwischen 0,37 und 3,7 beträgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Füllstand an Feststoff in dem Reaktor (8) so eingestellt wird, dass sich die Ringwirbelschicht (12) über das obere Mündungsende des Gaszufuhrrohr (9) hinaus erstreckt, so dass ständig Feststoff in das erste Gas

oder Gasgemisch eingetragen und von dem Gasstrom zu der oberhalb des Mündungsbereichs des Gaszufuhrrohr (9) befindlichen Wirbelmischkammer (15) mitgeführt wird.

5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Ausgangsmaterial Eisenerz, eisenoxidhaltiges Nickelz, eisenoxidhaltiges Manganerz oder eisenoxidhaltiges Chromerz eingesetzt wird.

10 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (8) Brennstoff zugeführt wird, durch dessen Verbrennung mit einem sauerstoffhaltigen Gas zumindest ein Teil der für die thermische Behandlung erforderlichen Wärmemenge erzeugt wird.

15 8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoff durch das Gaszufuhrrohr (9) in den Reaktor (8) eingeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Brennstoff in die Ringwirbelschicht (12) und/oder die Wirbelmischkammer (15) des Reaktors (8) eingetragen wird.

25 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den Reaktor (8) sauerstoffhaltiges Gas mit einem Sauerstoffgehalt von 15 bis 30 % entweder durch eine Leitung oberhalb der Ringwirbelschicht oder durch das Zentralrohr (9) eingebracht wird.

30 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest ein Teil des Abgases eines dem Reaktor (8) nachgeschalteten zweiten Reaktors (14, 14') über das Gaszufuhrrohr (9) in den Reaktor (8) geführt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (8) durch das Gaszufuhrrohr (9) eine Mischung aus Abgas aus dem zweiten Reaktor (14, 14'), aus einem sauerstoffhaltigen Gas und aus gasförmigem Brennstoff zugeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (8) über das Gaszufuhrrohr (9) ein in einer diesem vorgeschalteten Brennkammer (29) durch Verbrennung von gasförmigem Brennstoff und/oder brennstoffhaltigem Abgas aus einem dem Reaktor (8) nachgeschalteten weiteren Reaktor (14, 14', 30) erzeugtes, heißes Gas zugeführt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (8) als Fluidisierungsgas für die Ringwirbelschicht (12) Luft zugeführt wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Druck im Reaktor (8) zwischen 0.8 und 10 bar beträgt.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Feststoff vor Eintritt in den Reaktor (8) in wenigstens einer Vorwärmstufe, bestehend aus einem Suspensionswärmetauscher (5) und einem nachgeschalteten Zyklon (6), vorgewärmt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Feststoff in dem ersten Suspensionswärmetauscher (2) durch Abgas aus dem zweiten Suspensionswärmetauscher (5) und in dem zweiten Suspensionswärmetauscher (5) durch Abgas aus dem Reaktor (8) aufgewärmt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass 0 bis 100 % des in einem Zyklon (3) der ersten Vorwärmstufe abgeschiedenen Feststoffs über eine Bypassleitung (28) unter Umgehung der zweiten Vorwärmstufe direkt in den Reaktor (8) eingebracht wird, während der restliche Anteil
5 zunächst in die zweite Vorwärmstufe geführt wird, bevor auch dieser in den Reaktor (8) eingetragen wird.

19. Anlage zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18, mit einem als Wirbelschichtreaktor ausgebildeten Reaktor (8), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (8) ein Gaszuführungssystem aufweist, welches derart ausgebildet ist, dass durch das Gaszuführungssystem strömendes Gas Feststoff aus einer stationären Ringwirbelschicht (12), die das Gaszuführungssystem wenigstens teilweise umgibt, in die Wirbelmischkammer (15) mit-
15 reißt.

20. Anlage nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszuführungssystem wenigstens ein sich vom unteren Bereich des Reaktors (8) aus im Wesentlichen vertikal nach oben bis in die Wirbelmischkammer (15) des Reaktors (8) erstreckendes Gaszufuhrrohr (9) aufweist, wobei das Gaszufuhrrohr (9) wenigstens teilweise von einer Kammer, in der die stationäre Ringwirbelschicht (12) ausgebildet ist, umgeben ist.

21. Anlage nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszufuhrrohr (9), bezogen auf die Querschnittsfläche des Reaktors (8), in etwa mittig angeordnet ist.
25

22. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszufuhrrohr (9) an seiner Mantelfläche Öffnungen, bspw. in Form von Schlitzten, aufweist.
30

23. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (8) ein Zyklon (17) zur Abtrennung von Feststoffen nachgeschaltet ist, und dass der Zyklon (17) eine zu der Ringwirbelschicht (12) des Reaktors (8) führende Feststoffleitung (18) aufweist.

24. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der ringförmigen Kammer des Reaktors (8) ein Gasverteiler (11) vorgesehen ist, welcher die Kammer in einen oberen Wirbelbettbereich (12) und eine untere Gasverteilerkammer (10) unterteilt, und dass die Gasverteilerkammer (10) mit einer Zufuhrleitung für Fluidisierungsgas verbunden ist.

25. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (8) eine zu dem Gaszufuhrrohr (9) führende Zufuhrleitung (21, 20) für Brennstoff und/oder eine zu der ringförmigen Kammer führende Zufuhrleitung (21, 20) für Brennstoff aufweist.

26. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reaktor (8) eine Zufuhrleitung für sauerstoffhaltiges Gas aufweist, welche zu dem Gaszufuhrrohr (9) oder in einen Bereich oberhalb der Ringwirbelschicht (12) führt.

27. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass dem Reaktor (8) eine Brennkammer (29) vorgeschaltet ist.

28. Anlage nach einem der Ansprüche 19 bis 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gaszufuhrrohr (9) des Reaktors (8) über eine Zufuhrleitung (20) mit einem dem Reaktor (8) nachgeschalteten weiteren Reaktor (14, 14', 30) verbunden ist.

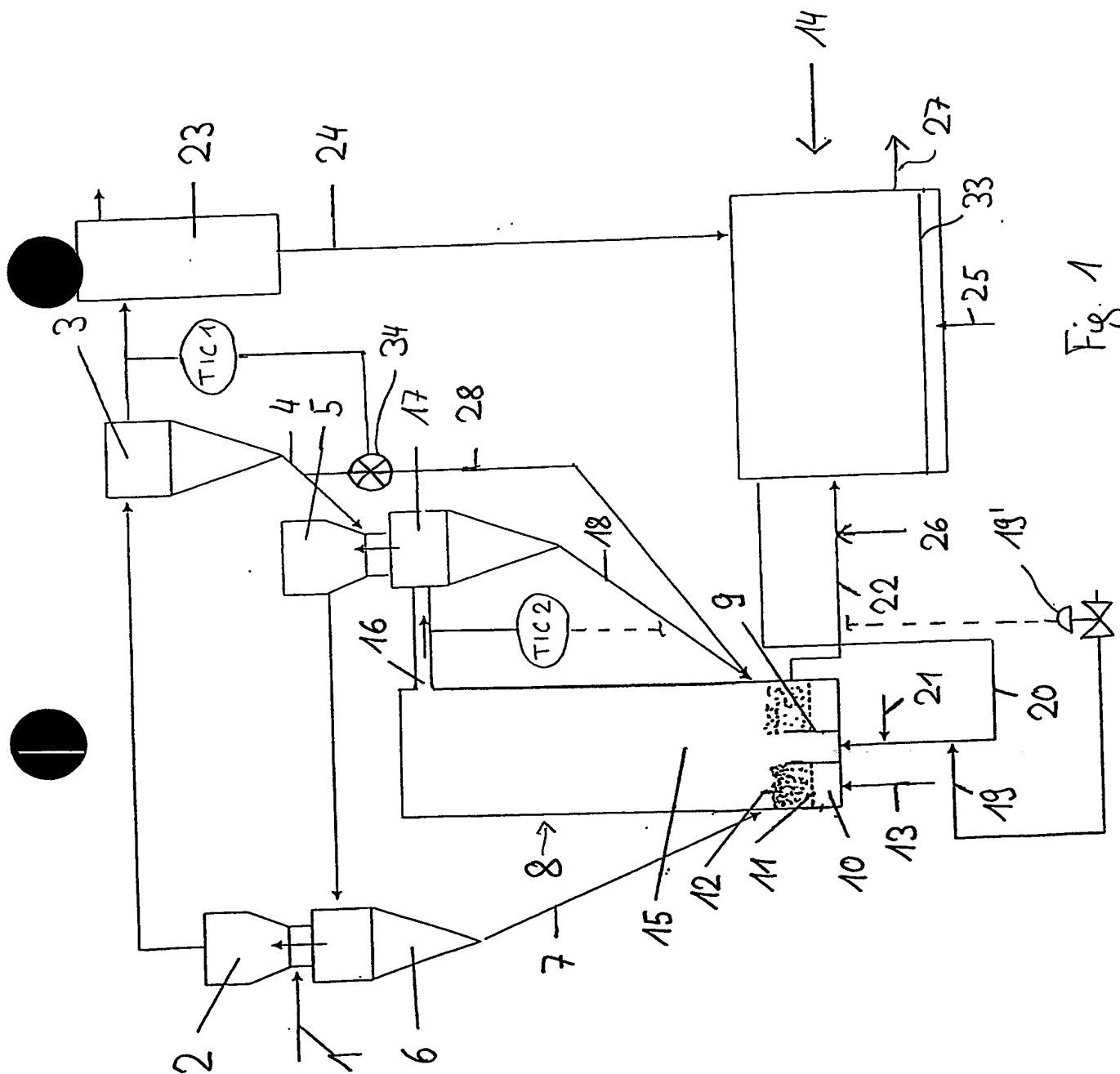


Fig. 1

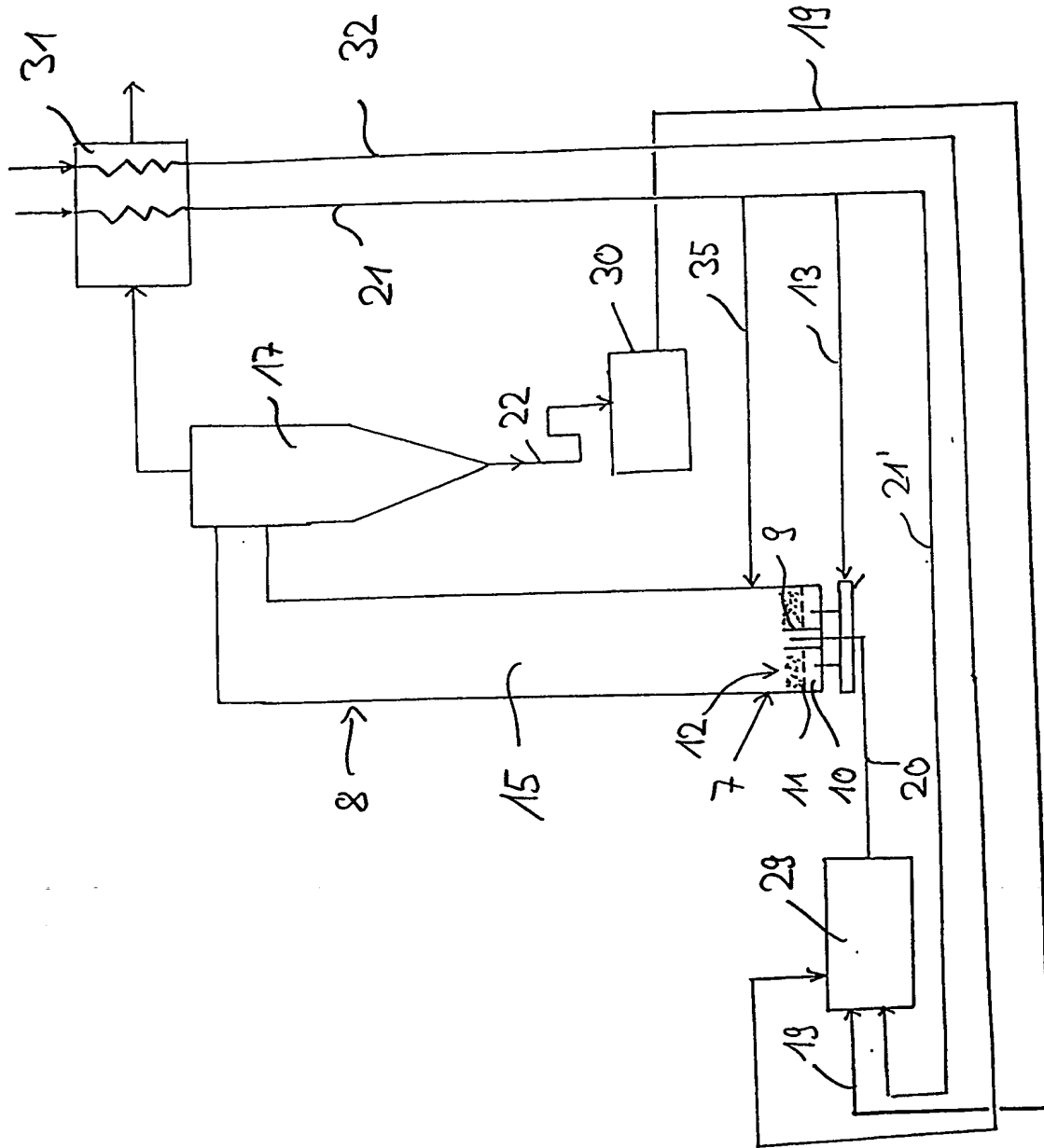
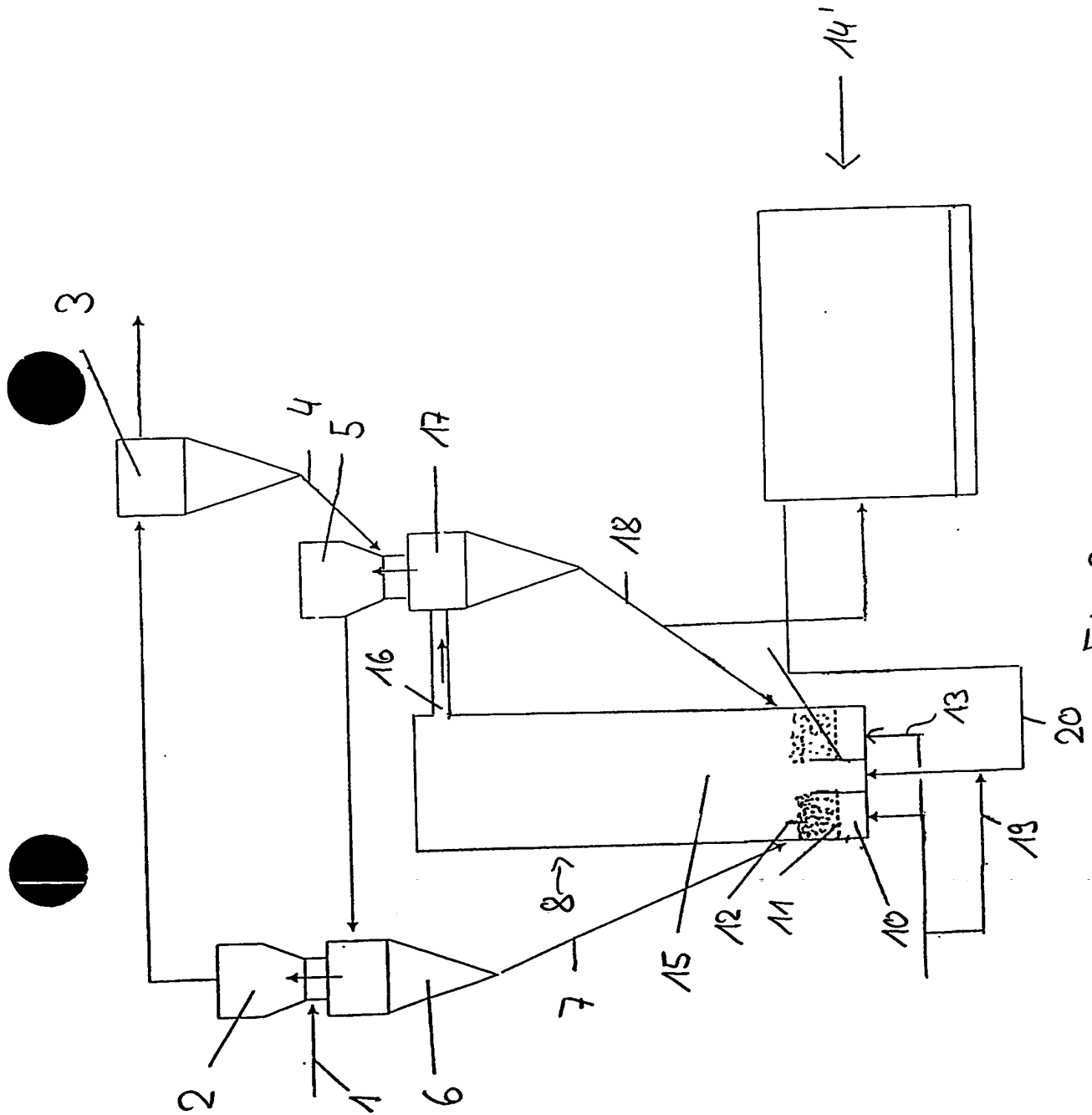


Fig. 2



3
L-30

Outokumpu Oyj
Riihitontuntie 7

02200 Espoo
Finnland

Zusammenfassung:

Verfahren und Anlage zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Wärmebehandlung von eisenoxidhaltigen Feststoffen, bei dem feinkörnige Feststoffe in einem Reaktor (8) mit Wirbelbett auf eine Temperatur von 700 bis 1.150 °C erhitzt werden. Um die Energieausnutzung zu verbessern, wird vorgeschlagen, ein erstes Gas oder Gasgemisch von unten durch wenigstens ein Gaszufuhrrohr (9) in einen Wirbelmischkammerbereich (15) des Reaktors (8) einzuführen, wobei das Gaszufuhrrohr (9) wenigstens teilweise von einer durch Zufuhr von Fluidisierungsgas fluidisierten, stationären Ringwirbelschicht (12) umgeben wird. Die Gasgeschwindigkeiten des ersten Gases oder Gasgemisches sowie des Fluidisierungsgases für die Ringwirbelschicht (12) werden derart eingestellt, dass die Partikel-Froude-Zahlen in dem Gaszufuhrrohr (9) zwischen 1 und 100, in der Ringwirbelschicht (12) zwischen 0,02 und 2 und in der Wirbelmischkammer (15) zwischen 0,3 und 30 betragen. (Fig. 1)